

⑩ 日本国特許庁(JP)

⑪ 特許出願公開

⑫ 公開特許公報(A) 平4-64164

⑬ Int.Cl.<sup>5</sup>

G 06 F 15/20

識別記号

庁内整理番号

D

7218-5L

⑭ 公開 平成4年(1992)2月28日

審査請求 有 請求項の数 15 (全28頁)

⑮ 発明の名称 シミュレーション方法及び装置

⑯ 特 願 平2-174642

⑰ 出 願 平2(1990)7月3日

⑱ 発 明 者 梅 田 茂 樹 神奈川県川崎市多摩区西生田2-6-4-203  
⑲ 発 明 者 吉 川 博 文 千葉県印旛郡印西町木刈6丁目11-10  
⑳ 出 願 人 インターナショナル・アメリカ合衆国10504、ニューヨーク州 アーモンク(番  
ビジネス・マシーン 地なし)  
ズ・コーポレーション  
㉑ 代 理 人 弁理士 頼 官 孝一 外1名

明 細 書

1. 発明の名称 シミュレーション方法及び装置

2. 特許請求の範囲

(1) 相互作用する複数のフレームを有し、上記フレームの1つに発生する事象が上記他のフレームに対して影響を及ぼす連鎖が存在するシステムの挙動をシミュレーションする方法に於て、

上記フレームの1つに於けるシミュレーション時刻に於て発生が予定されている事象をシミュレーションし、次に

上記シミュレーションすべき事象と意図的連鎖を有する事象に限定されたシミュレーションを行うことを特長とするシミュレーション方法。

(2) システムで処理すべき事象に関する情報をオブジェクト・フレームに記述しシミュレーションの条件及び時刻に関する情報をルート・フレームに記述することによりシステムのモデリングを行い、

上記事象の発生予定時刻を参照しつつ上記ルート・フレームで規定された時刻において事象を起こすオブジェクトを探索し、該オブジェクトの処理を実行する第一のステップと、

同時発生事象ルールを参照して、上記探索されたオブジェクトと同時に発生する事象をリストアップし、該事象を起こすオブジェクトの処理を実行する第二のステップと、

第一のステップで探索された全オブジェクトについて上記両ステップの処理が終了したとき、上記ルート・フレームの時刻を更新し、上記第一、第二のステップを繰り返し実行することを特長とするシミュレーション方法。

(3) システムの事象に関する情報を記述したオブジェクト・フレームと、上記オブジェクト・フレームのリストを指すポインター群を有しシミュレーションの条件及び時刻に関する情報を含むルート・フレームと、上記オブジェクト・フレームと双方向リスト・ポインタで連結された複数のイベント・トークンとによってシステムのモデリン

グを行い、

上記事象の発生予定時刻を順に参照して、上記ルート・フレームで規定された時刻において事象を起こすオブジェクトを探索し、該オブジェクトの処理を実行する第一のステップと、

上記イベント・トークンを用い、同時発生事象ルールを参照して、上記探索されたオブジェクトと同時に発生する事象をリストアップし、該事象を起こすオブジェクトの処理を実行する第二のステップと、

第一のステップで探索された全オブジェクトについて上記両ステップの処理が終了したとき、上記ルート・フレームの時刻を更新し、上記第一、第二のステップを繰返し実行することを特長とするシミュレーション方法。

(4) システムの処理事象に関する情報を記述したオブジェクト・フレームと、上記オブジェクト・フレームのリストを指すポインター群を有しシミュレーションの条件及び時刻に関する情報を含むルート・フレームと、上記オブジェクト・フレー

てなるシミュレーション用モデリング構造。

(7) システムのモデリング構造として、ネットワーク間のノードを表現する複数のセル、各セル間を連結する搬送系を表現するトランス及び作業者を表現するオペレータを有するオブジェクト・フレームと、

上記オブジェクト・フレームのリストを指すポインター群を有しシミュレーションの条件及び時刻に関する情報を含むルート・フレームとを備え、

更に、上記セルとトランスの相互関係として、押し出し型及び引取り型を規定する記述方式を備えてなるシミュレーション用モデリング構造。

(8) システムのモデリング構造として、ネットワーク間のノードを表現する複数のセル、各セル間を連結する搬送系を表現するトランス及び作業者を表現するオペレータを有するオブジェクト・フレームと、

上記オブジェクト・フレームのリストを指すポインター群を有しシミュレーションの条件及び時刻に関する情報を含むルート・フレームとを備え、

ムと双方向リスト・ポインタで連結された複数のイベント・トークンとを備えてなるシミュレーション用モデリング構造。

(5) システムの処理事象に関する情報を記述したオブジェクト・フレームと、上記オブジェクト・フレームのリストを指すポインター群を有しシミュレーションの条件及び時刻に関する情報を含むルート・フレームと、上記オブジェクト・フレームと双方向リスト・ポインタで連結された複数のイベント・トークンと、上記イベント・トークンを格納するタイム・イベント・テーブルとを備えてなるシミュレーション用モデリング構造。

(6) システムのモデリング構造として、ネットワーク間のノードを表現する複数のセル、各セル間を連結する搬送系を表現するトランス及び作業者を表現するオペレータを有するオブジェクト・フレームと、

上記オブジェクト・フレームのリストを指すポインター群を有しシミュレーションの条件及び時刻に関する情報を含むルート・フレームとを備え

上記セルが生産セル、搬入セル、搬出セルの記述方式を備え、更に、上記セルとトランスの相互関係として、押し出し型及び引取り型を規定する記述方式を備えてなる生産方式シミュレーション用モデリング構造。

(9) システムのモデリング構造として、ネットワーク間のノードを表現する複数のセル、各セル間を連結する搬送系を表現するトランス及び作業者を表現するオペレータを有するオブジェクト・フレームと、

上記オブジェクト・フレームのリストを指すポインター群を有しシミュレーションの条件及び時刻に関する情報を含むルート・フレームとを備え、

上記セルが倉庫セル、搬入セル、搬出セルの記述方式を備えてなる輸送方式シミュレーション用モデリング構造。

(10) システムの事象に関する情報を記述したオブジェクト・フレームと、上記オブジェクト・フレームのリストを指すポインター群を有しシミュレーションの条件及び時刻に関する情報を含む

ルート・フレームと、

上記オブジェクト・フレームと双方向リスト・ポインタで連結された複数のイベント・トークンと、

上記イベント・トークンを格納するタイム・イベント・テーブルと、

上記イベント・トークンの事象発生予定時刻を順に参照して最も近い将来に事象を起こすオブジェクトを探索し、該オブジェクトに対応するイベント・トークンを・トークン・スタックに積むスタック・ジェネレータと、

同時発生事象ルールを参照して、上記探索したイベント・トークンと同時に発生する事象をリスト・アップし、対応するイベント・トークンを上記トークン・スタックに積む手段と、

上記トークン・スタックに積まれたイベント・トークンに対応するオブジェクトの処理を実行する手段とを備えてなるシミュレーション装置、

(11) システムの事象に関する情報を記述したオブジェクト・フレームと、

事象をリスト・アップし、対応するイベント・トークンを上記トークン・スタックに積む手段とを備えてなるシミュレーション装置、

(12) システムの事象に関する情報を記述したフレームと、

上記フレームと双方向リスト・ポインタで連結された複数のイベント・トークンと、

上記イベント・トークンを格納するタイム・イベント・テーブルと、上記イベント・トークンの事象発生予定時刻を順に参照して最も近い将来に事象を起こすオブジェクトを探索し、該オブジェクトに対応するイベント・トークンをトークン・スタックに積むスタック・ジェネレータと、

同時発生事象ルールを参照し、上記探索したイベント・トークンと同時に発生する事象をリスト・アップし、対応するイベント・トークンを上記トークン・スタックに積む手段と、

上記トークン・スタックに積まれたイベント・トークンに対応するオブジェクトの処理を実行する手段とを備えてなるシミュレーション装置、

上記オブジェクト・フレームのリストを指すポインタ群を有しシミュレーションの条件及び時刻に関する情報を含むルート・フレームと、

上記オブジェクト・フレームと双方向リスト・ポインタで連結された複数のイベント・トークンと、

上記イベント・トークンを格納するタイム・イベント・テーブルと、

上記イベント・トークンの事象発生予定時刻を順に参照して最も近い将来に事象を起こすオブジェクトを探索し、該オブジェクトに対応するイベント・トークンをトークン・スタックに積むスタック・ジェネレータと、

上記トークン・スタックに積まれたイベント・トークンに対応するオブジェクトの処理を実行する手段と、

ある事象がシステムの状態により実行できないとき上記イベント・トークンに待ち状態のマークを付し該マークされたイベント・トークンについて同時発生事象ルールを参照して同時に発生する

(13) システム内のオブジェクトの事象に関する情報を記述したフレームと、上記フレームと双方向リスト・ポインタで連結された複数のイベント・トークンと、上記イベント・トークンを格納するタイム・イベント・テーブルとを有する記憶手段と、

あるオブジェクトが、事象を発生したとき、該オブジェクトに対応するイベント・トークンの持つ双方向リスト・ポインタをたどって該オブジェクトの処理内容を予め与えられた評価項目毎に記録し、該処理内容に統計的処理を行って表示手段に出力する手段とを備えてなるシミュレーション装置、

(14) システム内のオブジェクトの事象に関する情報を記述したフレームと、上記フレームと双方向リスト・ポインタで連結された複数のイベント・トークンと、上記イベント・トークンを格納するタイム・イベント・テーブルとを有する記憶手段と、

あるオブジェクトが、特定のデータの更新を伴

う事象が発生したとき、該オブジェクトに対応するイベント・トークンの持つ双方向リストをたどって該オブジェクトの特定のデータを利用して該データに統計的処理を行うデータ処理手段と、

上記データ処理手段の出力を表示する表示手段とを備えてなるシミュレーション装置、

(15) システムの事象に関する情報を記述したオブジェクト・フレームと、上記オブジェクト・フレームのリストを指すポインター群を有しシミュレーションの条件及び時刻に関する情報を含むルート・フレームと、

上記オブジェクト・フレームと双方向リストで連結された複数のイベント・トークンと、上記イベント・トークンを格納するタイム・イベント・テーブルと、

該イベント・トークンの事象発生予定時刻を順に参照して最も近い将来に事象を起こすオブジェクトを探索し、該オブジェクトに対応するイベント・トークンをトークン・スタックに積むスタックジェネレータと、

技法に関するものである。

#### B. 従来の技術

コンピュータ・シミュレーションは、システムの管理、運営上の指針となる種々の予測情報を提供してくれる。複雑なシステム、例えば工場の生産システム、物の広域輸送システム、交通システム等をモデル化し、シミュレーションを行うことが知られている。シミュレーションには時間に着目した連続時間型ないしは離散時間型のシミュレーションと、あるオブジェクトの動作に着目した離散事象型のシミュレーションとがある。上記生産システムや輸送システム等は、オブジェクトの動作が離散して発生しその間は何の変化も生じない離散事象型としてシミュレーションを行うのに適している。例えば、特開昭61-61752号公報には製造設備のシミュレーション装置が示されている。また、特開平1-155462号公報には、離散事象型シミュレーションの効率を向上させる方法が示されている。

しかし、上記のような各種システムは年々複雑

上記トークン・スタックに積まれたイベント・トークンに対応するオブジェクトの処理を実行する手段と、

ある事象がシステムの状態により実行できないとき上記イベント・トークンに待ち状態のマークを付し該マークされたイベント・トークンについて同時発生事象ルールを参照して同時に発生する事象をリスト・アップし、対応するイベント・トークンを上記トークン・スタックに積む手段と、

あるオブジェクトが、事象が発生したとき、該オブジェクトに対応するイベント・トークンの持つ双方向リストをたどって該オブジェクトの処理内容を予め与えられた評価項目毎に記録し、該処理内容に統計的処理を行って表示手段に出力する手段とを備えてなるシミュレーション装置、

#### 3. 発明の詳細な説明

##### A. 産業上の利用分野

本発明は、シミュレーション方法及び装置に係り、特に生産システムや物流システム等における離散事象を処理するのに適したシミュレーション

さを増しており、従来知られたシミュレーション方法では、これに充分対処できない。

すなわち、従来の方法では、複雑化したシステムにおける同時発生事象の処理アルゴリズムの記述に多大な労力を要すると共に、コンピュータによるシミュレーション処理のために多くの時間が必要になる。

生産システムをシミュレーションの観点から捉えた時、その最たる特長は、非常に頻繁に同時発生事象が引き起こされることである。同時発生事象とは、対象とするシステム内で同時刻に連続的に異なる事象が発生することをいう。例えば、仕掛かり品がバッファから出ていくと同時に、ブロッキングされていた機械から仕掛かり品がアンロードされる。仕掛かり品の量が在庫基準量を下回ると同時に、カンバンがはずれる。カンバンがはずれると同時に、台車が前工程に向かって動きだす。前工程からバッファに仕掛かり品が運び込まれると、クレーンが動きだす。

このような動作は、基本的には、あるオブジェ

クトが特定の事象を起こすことによってそれまで全く関係なかった別のオブジェクトが別の事象を起こすということである。一般にシミュレーション言語では、オブジェクトごとにその挙動の群を記述するのが原則である。従って、同時発生事象を検索するために複雑なステップが必要になり、メカニズムを記述するのが非常に困難であり、言語上の制約により記述しきれない場合もしばしばある。

このようにステップが複雑になるため、コンピュータによるシミュレーション処理にも多大の時間を要することとなる。

また、従来のシミュレーション方法では、シミュレーション・モデル（工程、手順等の記述）の作成に時間と手間を要する。これは、離散事象型に限らず、複雑なシステムを対象とするとき各シミュレーション方法に共通した問題である。

すなわち、従来、計算機上でこの種の数値実験を行うためには、FORTRAN、PL/I等の汎用言語を用いて対象とする生産工程の構造や作

業手順などをひとつひとつ記述していくか、もう少し記述しやすいものでもGPSS等のシミュレーション言語を用いて同様に記述していくしかなかった。多くのシミュレーション言語（GPSS等）では、システムを記述するための記述要素がいくつか用意されていて、それらの記述能力を十分に活用することにより、対象のシステムをモデルに対応付けていく方式である。ところが、これらの言語は、生産システムだけではなく、通信網、交通システム等、広範囲にわたって使われることを前提に設計されているので、記述要素は非常に抽象的な形で提供されている（例えばTRANS ACTION、QUEUE、ENTITYなど）。したがって、現実の構成要素（機械、コンベア、台車、クレーン、作業員など）を記述するためには、それらの構成、動作等をいったんその抽象的な記述要素に合った形に細かく分解し、再度構成しなおす必要がある。これらの作業はばく大な時間と手間を要するものである。

しかも、構成要素間で互に情報を交換する場合

にはそれを忠実にモデルに反映できない、もしくはばく大な時間と手間を要する。

生産システムの構成要素間の連絡指示方式には、押し出し型、引き取り型の二つの型がある。各工程が、事前に指示された計画に基づいて作業を行い、作業終了した仕掛かり品を順次次工程に『押し出し』ていく型を押し出し型の指示方式という。この方式では、システム全体を統括するスケジューラーの存在が前提となる。スケジューラーは、目標と各工程の能力を考慮してリードタイムを見積り、各工程に指示を与える。各工程はそれに基づいて生産を行い、仕掛かり品を順次次工程に『押し出し』ていく。押し出し型方式は、計画駆動型ともいうことができる。MRP（所要量計算プログラム）方式はこの典型的な例である。

一方、引き取り型指示方式とは、後工程が前工程から仕掛かり品を『引き取る』方式である。各工程が仕掛かり品、及び原材料を「必要に応じて」引き取るという形で、順次前工程へ連鎖を渡らせていく。前工程に引き取り情報を伝達する手段と

で、「カンバン」を用いることが多いので、この方式はカンバン方式とも呼ばれている。生産現場では、その特性に応じてMRP方式やカンバン方式を適宜使い分けている。またMRP方式とカンバン方式を組み合わせた生産指示方式を取る場合もある。

生産工程用の汎用シミュレーターで、MRP方式やカンバン方式をモデルとして定義できるものは、知られていない。汎用シミュレーション言語でこれらの生産指示方式をモデルとして表現しようとする、ばく大なモデル開発費用が発生する。また、場合によっては、言語の設計仕様上、そうしたモデル記述ができない場合もある。

#### C. 発明が解決しようとする課題

本発明の第1の目的は、複雑なシステム内で頻繁に発生する同時発生事象の処理アルゴリズムの記述を容易なものにすると共に効率的な処理を可能にする離散型のシミュレーション方法及び装置を提供することにある。

本発明の他の目的は、複雑なシステムのシミュ

レーション・モデルの作成作業が容易、迅速に行えるモデリング構造を提供することにある。

#### D. 課題を解決するための手段

上記本発明の第1の目的を達成するために、本発明のシミュレーション方法は次のような特長を有する。

相互作用する複数のフレームを有し、上記フレームの1つに発生する事象が上記他のフレームに対して影響を及ぼす連鎖が存在するシステムの挙動をシミュレーションする方法に於て、

上記フレームの1つに於けるシミュレーション時刻に於て発生する事象をシミュレーションし、次に上記シミュレーションすべき事象と意図的進捗を有する事象に限定されたシミュレーションステップを有する。

上記他の目的を達成するために、本発明のシミュレーション用モデリング構造は次のような特徴を有する。

システムの処理事象に関する情報を記述したオブジェクト・フレームと、上記オブジェクト・フ

た全オブジェクトについて上記両ステップの処理が終了した時、上記ルート・フレームの時刻を更新し、上記第一、第二のステップをシミュレーション時刻の終了時まで繰り返し実行する。

## F. 实施例

本発明を製造工程のシミュレーションに適用した例について説明する。

F-1. 概要

まず、最初にシミュレーション装置の概要を第1章によって説明する。

離散型シミュレーション機能部1は、5つの部分により構成される。モデリング・パラメータ設定部1Aは、モデリングAで指定されたシミュレーションの対象とする生産工程の構成の仕様およびシミュレーションの実行条件を決めるパラメータ設定する部分である。構成の仕様は、シミュレーションが専門技術ではなく、生産システム、工程設計を専門技術とする技術者が書きやすい形式になっている。

モデリング・パラメータ設定部 1 A で対象とす

レームのリストを指すポインター群を有しミューションの条件及び時刻に関する情報を含むルート・フレームと、上記オブジェクト・フレームと双方向リスト・ポインタで連結された複数のイベント・トークンとを備えている。

### E. 作用

まず、システムで処理すべき事象に関する情報を記述したオブジェクト・フレームとシミュレーションの条件及び時刻に関する情報を含むルートフレームによりシミュレーションの対象となるシステムのモデリングを行う。次に上記事象の発生日時時刻を順に参照して、上記ルート・フレームで規定された時刻において事象を起こす（偶発的同時発生事象）オブジェクトを探索し、該オブジェクトのシミュレーションを実行する第一のステップと、同時発生事象ルールを参照して、上記探索されたオブジェクトと同時に発生する事象（意図的同時発生事象）をリストアップし、該事象を起こすオブジェクトのシミュレーションを実行する第二のステップと、第一のステップで探索され

る生産工程の構成およびシミュレーション実行に必要なパラメータをノードとポインターとからなるネットワーク形式にして、計算機の内部記憶部（1B）に展開し、そのアクセス・ポインターをシミュレーション実行部1Cにわたす。シミュレーション実行部1Cでは、生産システムの個々の資源であるオブジェクトすなわち機械、搬送器具、作業者、部品などのおのおのに対応するトークンのリストを生成し、このリストと擬似乱数発生装置によりシステム内で起こるあらゆる事象を順次追跡しながらそれらの記録を生成する。

事象とは、例えば、ある機械が仕事を開始した、ある機械が搬送を終了した等のような、各オブジェクトにおける状態の変化を指す。記録には2種類ある。ひとつは各々のオブジェクトの作業別時間例えば、機械の作業時間、取替え時間、故障の修復時間、搬送器具の搬送時間、等の分布を求めるための累計計算記録であり、もうひとつは加工・組立ての対象となる部品の、機械・搬送器具に対する入出力記録である。ここで得られた記録

は、中間データ・ファイル（図示せず）の形で外部ファイルとしてデータ・ファイル保持部1Dに出力される。それぞれのオブジェクト（例えば機械、搬送器具等）の事象を処理するための時間は合同乗算法によって求められる乱数を用いて決定する。従って、シミュレーションの結果は乱数の系列の影響を受けることになるが、本装置ではこれを解決するために、同一の実行条件で乱数の系列を変えて数回のシミュレーションを実行するリブケーション機能を内蔵している。データ・ファイル保持部1Dに出力されるのは、数回のシミュレーションを実行した分のデータである。

データ処理部1Eは、データ・ファイル保持部1Dに出力された中間データからシステム資源ごとの作業時間の分布を、統計的推定法により求め、評価尺度を計算する部分のことである。評価尺度は、資源の作業種類ごとの時間分布、各資源が処理した部品数の時系列的な累積値、各資源内に滞在する仕掛かり部品の時系列的な滞在量である。データ処理部1Eで処理されたデータは、数値情

報および図像情報として外部表示装置2に送られ表示される。

次に、離散型シミュレーション機能部1の各部の構成、機能を順に説明する。

#### F-2. モデリング・パラメータ設定部

モデリング・パラメータ設定部1Aではまず、フレーム表現による生産システムの工程組成の記述を行う。

生産システムには多くの種類があり、それらを全て網羅する枠組みを与えるのは不可能であるが、生産システムの構成要素の種類となると、その数はかなり限定される。その代表的な構成要素を、モデルの枠組みとして提供する（モデリング・ディスクリプター）。モデリング・ディスクリプターは、ネットワーク構造をもつ生産システムの構成を記述するための記述要素である。ネットワークのノードをセル、アークをトランスという。この他にセル、トランスの共有資源として、作業者を表現するオペレータがある。第2図に、セル12、トランス14、オペレータ16の相互の関係

を示し、第3図に各々の記述要素の例を示す。

セル12には、製品の加工組立てを行う生産セル、原材料の搬入を行う搬入セル、完成製品等を搬出する搬出セルの3つのモデリング・ディスクリプターがある。トランス14は、搬送系を表現するモデリング・ディスクリプターで、基本的には二つのセル12を連結する要素である。オペレータ16は、生産セルで機械操作、故障修復作業、段取り作業を行う作業者を表現するモデリング・ディスクリプターである。

セル12、トランス14、オペレータ16の各ディスクリプターは、固有の表形式で表現される。すなわち表1に例を示すように属性（スロット）とその値（ファシット、データ）からなり、対象とするオブジェクトを記述する。生産システムの構成に合わせてスロット構造を決めることができる。値が未定義の時は、あらかじめ用意された欠測値を用いることになっているので、おおまかなモデルをすばやく作成する時には都合がよい。

表1. モデリング・ディスクリプターの記述例

CELL:cell;	
MACHINE LIST: m1,m2;	
MACHINE TYPE: automatic;	↑ 資源
BUFFER SIZE: p1=40,p2=30;	↓
BUFFER CRITERIA : p1=18,p2=13;	↑
DEFINE SETUP: s1;	
TIME: minimum=2;	
OPERATORS: 1;	
END;	↑ オペレーション
DEFINE SETUP:s2;	
TIME: minimum=2.5,average=3;	
OPERATORS: 2;	
END;	
DEFINE WORK:WT1;	
SETUP: s1;	
TIME: minimum=3,average=4;	
INPUT TYPE:p1=3;	
OUTPUT TYPE: p2=6;	
END;	

```

DEFINE WORK:WT2;

  SETUP: s2;

  TIME: minimum=2,average=2.2;

  INPUT TYPE:p3=1;

  OUTPUT TYPE: p4=1;

  END;

DEFINE JOB: J1;

  WORK TYPE : WT1;

  REPEAT : 5;

  END;

DEFINE JOB J2;

  WORK TYPE : WT2;

  REPEAT : 7;

  END;

INIT BUFFER: p1=20,p2=15;

INIT SETUP : m1=s1,m2=s2;

END

```

初期条件

次に各種セル、トランス及びオペレータの記述方式を説明する。

仕掛品が一つのバッファを共有するものである。固有バッファ、共有バッファ共にそのバッファ容量を定義できる。

多品種生産システムでは、同一生産ラインで複数品種の生産を行うため、各工程では、生産するものに応じて別個の作業内容、及びそのための段取り作業等のオペレーションの定義が必要になる。オペレーションには、段取り情報、作業情報、JOB（ジョブ）の定義、JOB列の定義がある。これらは、多品種生産システムに対応して、複数定義することもできる。

## (1) 生産セルの記述

生産セルは、表2に示すように、システム資源に関するスロット、オペレーションに関するスロット、初期値設定に関するスロットの三つからなる。システム資源としては、機械、及びバッファがある。一つのセルには、性能の等しい複数の機械が設定できる。

機械の定義項目には、設置機械名、機械の型、機械故障属性がある。機械の型には運転時にオペレータを要する手動運転型と、オペレータを必要としない自動運転型がある。機械故障属性には、故障確率、修理時間分布のパラメータ、修復に要する作業人員数がある。

工程間に設けられた仕掛品置場（バッファ）が設定でき、そのサイズ、在庫量基準値（在庫量がこの値を下回った時、前工程に引き取り信号を送るためのトリガー）を定義できる。バッファには、固有バッファと共有バッファがあり、固有バッファは、個々の仕掛品ごとにその容量がきまるものであり、共有バッファは、数種の

## 2. 生産セルの記述フレーム

資源	機械	設置機械名、 型（自動運転、手動運転） 故障属性（故障確率、修理時間、分布 パラメータ、修復人員数）
	バッファ	バッファサイズ（固有、共有） バッファ内在庫基準量
オペレーション	段取り情報	段取り名、段取り時間分布パラメータ、 段取り作業員数
	作業情報	作業名、入力部品名と数、出力部品名 とその数、作業時間分布パラメータ
	JOB情報	JOB名、作業名、作業くり返し数
	JOB列	JOBの実行順序
初期状態		機械の初期段取り状態、バッファ の初期在庫状態

段取り情報には、固有の段取り名の定義、段取り時間の分布パラメータ、段取り作業員数がある。作業情報には、作業名、作業時間の分布パラメータ、入力部品名、出力部品名がある。段取り作業時間分布、作業時間分布は、生産システムの



特性を考慮して、シフト型指数分布に従うものとした。

この時間分布は、 $\mu$ 、 $m$ をパラメータとする  
(A)式で表現される。

$$f(x) = 1/(\mu - m) \cdot \exp(-(x - m)/(\mu - m)) \cdot (x - m) \quad (A)$$

$$= 0 \quad (x < m)$$

(A)は、指数分布

$$g(x) = \lambda \cdot \exp(-\lambda x) \quad (B)$$

で $\lambda = 1/(\mu - m)$ とし、 $x$ 軸の方向に $m$ だけシフトした型になる。したがって、(A)は平均 $\mu$ 、標準偏差 $1/(\mu - m)$ になり、分布型としては指数分布になる。通常、通信システム等を対象した待ち行列網解析システム(QNA)では、サービス時間の時間分布として、(B)式で表現される $g(x)$ が用いられることが多い。(B)式では、サービス時間のレンジが $[0, \infty)$ となる。生産システムの各工程での作業時間は、最小限のプロセスタイムを要する、比較的バラツキの少ない時間値である。(A)の定義によれば、この条件をみたし、かつ指数分布の示す特徴も有し

く同等の型式で定義する。

計画型では、あらかじめ与えられた搬入/搬出計画リストに基づき、決められた時刻に、決められた内容の品目の完成品、原材料を搬入/搬出する。

周知型では、決められた品目の原材料/完成品が、決められた量だけ一定の時間間隔で、搬入/搬出する作業を記述する。

発注型ではリードタイム、搬入/搬出量を設定しておき、搬入/搬出指示が出されるとリードタイムだけ時間が経過した後、その作業が行われる。

分布型では、搬入/搬出における仕掛品の品目と量は、周知型同様一定であるが、時間間隔が決められた確率分布に従う。

又、(1)で述べた同型のバッファを記述するスロットを有する。

ている。したがって、生産システムを考えた場合、より現実性があり拡張性も有する。

多品種生産システムでは、工程ごとに決められたロット単位に処理を行う生産方式が用いられる。本発明のシステムでは、ロットの概念はJOBの定義という形でシミュレーションモデルに反映される。一つのJOBは数回分の作業のサイクルとする。この定義によれば、生産システムのロット単位を容易に表現でき、その適正サイズの決定に有用である。又、実行順のJOBの並びをJOB列として定義すれば、JOBの実行順序を指定することになる。その他、機械の初期段取り、バッファの初期在庫量等の初期値を設定できる。

## (2) (搬入/搬出セル)の記述

搬入/搬出セルは、外部との完成品、及び原材料の搬出/搬入を行うセルである。表3に記述フレームの例を示す。ベンダー(前工程)、あるいは顧客(後工程)を表現するともいえる。計画型、周知型、発注型、分布型の四つの型を定義できる。又、搬入/搬出すなわち入口と出口のセルは、全

表3. 搬入/搬出セルの記述フレーム

資源	バッファ	バッファサイズ (固有バッファサイズ、共有バッファサイズ) バッファ内在庫基準量
オペレーション	型	計画   周知   分布   発注
	作業	(計画型) 搬入/搬出計画リスト (周知型) サイクルタイム、 搬入/搬出品目リスト (分布型) 時間間隔分布パラメータ、 搬入/搬出品目リスト (発注型) 発注リスト、リードタイム
初期状態	バッファ初期状態	

## (3) トランスの記述

トランスのフレームは、表4に示すように、システム資源に関するもの、連結情報に関するもの、及びオペレーションの三つのスロットからなる。その資源として、搬送具としてのカートがある。個々のカートごとに、搭載する仕掛品名と搭載量を定めるが、これは一回あたりの搬送量を定義し

たもの、すなわち搬送ロットに対応する。搬送時間と共に、そのロットサイズ、及び工程間の搬送能力を評価することができる。

トランスは、二つのセルを連結するものであるが、そのための連結情報として、上流側のセルと下流側のセルを各々定義する。オペレーションの情報として、移動時間、積出し／積降し時間、オペレーションの型がある。

オペレーションの型には、プッシュ (PUSH) 型とプル (PULL) 型がある。プッシュ型のトランスのカート (CART) は上流側を基底位置とし、積出しに十分な仕掛品が溜まると、ロードし搬送する。下流側で積降し後、空のまま上流に戻る。プル型のトランスのカートは下流側を基底位置とし自分が担当する仕掛品の残量が決められた基準量以下になると、空のまま上流に取りに行く。上流側で積出し後下流に戻る。上流側で仕掛品残存量が基準量以下のときは、上流側のセルにJOBを依頼する。

表4. トランスの記述フレーム

資源	カート	カート名、
連結情報		搭載仕掛品名、搭載量 上流のセル名、下流のセル名
オペレーション	型	プッシュ、プル

(4) オペレータは、セル及びトランスが必要とする時に、作業者を割当てて機能をもつ。セル、トランスが稼働する時に必要なシステム資源とも考えられる。オペレータのフレームは、表5に示すように、それに属する個々の作業者の名前、作業対象領域 (第2図の16A) のセル名、及び作業時間のスロットからなる。これらは個々のフレームに対して独立に定義できるので、生産システムの実情に合わせて、作業者の昼休み時間や、勤務時間の交代シフト等をシミュレーションモデルに反映できる。従って、作業者の適正な配置や、作業時間の割当て等を評価することができる。

表5. オペレータの記述フレーム

資源	作業者	作業者名
オペレーション		作業時間帯 作業エリア

#### (5) 生産指示方式の記述

##### i) 押し出し型生産指示方式の記述

生産システムを構成する全ての生産セルにスケジューラーからの生産命令をJOBシーケンスで定義して、JOBの実行順序を規定する。さらにセル間の接続するトランスについてはその型をプッシュ型に設定する。

##### ii) 引き取り型生産指示方式の記述

引き取り型生産指示方式は、本質的には、後工程が何を引き取ったか (引き取りに来たか) を前工程が知り、前工程はその必要に応じて仕事を行うというサイクルを繰り返す。従って、引き取り型生産指示方式をシミュレーションするには、

1) 後工程が生産指示を送るタイミングを記述できること。

2) 後工程からの生産指示により、前工程が生産を行うプロセスを記述できること。の二点が必要かつ十分である。生産システムを構成する全ての生産セルにJOBシーケンスを定義せず、代わりに入出力バッファーに在庫基準量を定義する。さらにセル間を接続するトランスについては、その型をプル型にする。

##### iii) 押し引き混合型生産指示方式の記述

生産システムを構成するセルのうち、スケジューラーからの生産命令をうけるセルにだけJOBシーケンスを定義して、JOBの実行順序を規定する。トランスについてはJOBシーケンスを定義しないセルの直後のトランスについては、その型をプッシュ型にする、他のトランスについては、プッシュ型／プル型いずれでもよい。

モデリング・パラメータ設定部1Aでは次にフレーム表現によるシミュレーション実行条件の記述を行う。

詳細は次のとおりである。

##### (1) シミュレーションの実行時間

シミュレーションの実行時間を実時間単位で指定する。

(2) 反復回数 (REPLICATION)

シミュレーションの繰り返しの数を指定する。

(3) トレース情報

機械及びカートとそれを含むセル名、トランス名を指定する。

(4) イベント発生記録条件

イベント発生記録は、ユーザーの指定がないとシミュレーション中に起こった全てのイベントのログが得られる。特定のセル、及びトランスを指定すると、そのセル、トランスについてのみの出力となる。

(5) 初期データ削除

シミュレーション開始時からしばらくの時間についての、それらのデータを解析対象から除く場合、その分の時間を指定する。

F-3. 内部記憶部

内部記憶部1Bでは、工程組成情報、シミュレーション実行条件の内部展開を行う。

ムは、1つ以上のオブジェクト・フレームをもつ。親フレームには、その下に属するオブジェクト・フレーム（子フレーム群120、140、160）の共通した性質が記述されている。つまり、オブジェクト・フレームの性質は、その独自の性質は、自分自身に、その兄弟に共通する性質は親フレームの性質として記述されている。

ルート・フレームと親ルート・フレーム群、親ルート・フレームと子フレーム群は、各々双方向ポインタPを持っていてお互いを参照し、必要に応じて親フレームを介して自分以外のオブジェクト・フレームとデータのやりとりができる。又、セル及びトランスのフレームは、特に自分に関連する関連フレーム・リスト129、149（セルに関連のあるトランスのフレーム、トランスの上流、下流になるセルのフレーム）をもっているの、そこから直接相手を探索することができる。

あるアークAiは、あるノードNiを始点とするという関連をもつ場合、Aiを表わす親フレームの下につく関連フレームとしては、「Ni; A

生産システムの各要素すなわち、生産セル、機械、搬出セル、搬入セル、トランス、カート、オペレータを記述した内容そのものは、第3図に示すようなフレーム形式のデータ構造をもって、第4図に示す如く、内部記憶部1Bに展開される。この時、ルート・フレーム10を生成する。

ルート・フレーム10は、全てのオブジェクト・フレームすなわち、システム・ネットワークの個々のノード、アーク、共有資源における最小単位の上に定義されたフレームである。ルート・フレームはシミュレーション打ち切り時間、現在の時刻、データ収集の順の時間間隔パラメータ及びノード・パラメータ、シミュレーションのトレースをとるためのノード・パラメータ、親フレーム群（セル12、トランス14、オペレータ16）のリストを指すポインタ群をデータとして保有する。

オブジェクト・フレームはセル、トランス、オペレータの3種類別にまとめられている。そのまとめたものが親フレームである。従って親フレー

iの始点となるノードである」という内容が記述された関連フレームがある。

これらの子フレーム群（マシン、カート、コンベヤ、オペレータ120、140、160）は、システム内に実在する具体的な『事象 (EVENT)』を起しうる全てのオブジェクト』であるが、この一つ一つに対して、イベント・トークン (EVENT TOKEN) 30が双方向リストでつながっている。イベント・トークンとは、個々のオブジェクトを参照するためのキー（索引）である。第5図に示すように、イベント・トークン30には、対応するオブジェクト・フレームを指すアクセス・ポインタ32、そのオブジェクトが次に起す予定のイベントの内容を現わすイベント番号とその予定時刻34が書かれている。イベント・トークン30は、通常、タイム・イベント・テーブル (TET) と呼ばれる、可変長のテーブル (表) 40のカラムに格納されている。

内部記憶部1Bには、後述する同時発生事象ルール集42のデータも格納されている。なお、1

70は、トレース・リストで、特定のオブジェクトに着目してその動作を見るのに使われる。

#### F-4. シミュレーション実行部

シミュレーション実行部1Cはシミュレーションを実行する中核となる部分であり、事象処理プロセッサ50が次のような複数の機能部分を構成している。すなわち、事象発生探索装置52、事象処理スタック54を含む事象処理装置56、同時発生事象探索装置58及び疑似乱数発生装置59によってシミュレーション実行部を形成している。

事象発生探索装置52は、イベント・トークン30が格納されたタイム・イベント・テーブル40を探索し、次に起す事象発生予定時刻が最も近いものをみつける。さらに、そのイベントと同時に発生する事象をもつトークンを探索し該当するものを全て探し、事象処理装置中56の事象処理スタック54に積む。

事象処理装置56は、事象処理スタック54につまれたトークン30を取り出し該当する処理を

つ以上のイベントが同時刻に起った場合をいう。第6図において、時刻T1における事象A1とF1がその例である。一方意図的同時発生事象は、ある事象が起ることによって意図的に発生させる事象である。意図的同時発生事象の例として第6図においては次の様なものがある。

B4；入力バッファに仕掛品が入る→C4；材料待ちの機械が動き出す。C5；ジョブ実行中の機械が仕事を終える→C6；出力バッファに仕掛品が入る。C8；出力バッファに仕掛品が入る→D6；材料待ちの台車にものが積みこまれる。F2；稼働中の機械が故障する→G2；オペレータが修理動作を開始する。

システムの構成をきめれば、どのような事象が起きたときに、それに連鎖してどのような事象が発生する可能性があるかを限定できるはずである。これをルール形式で記述したものが同時発生事象ルール集である。

つまり同時発生事象ルール集は、意図的同時発生のパターンを記述したものである。ルールの例

行い、トークンを同時発生事象探索装置58に渡す。事象処理スタック54につまれていたトークン30が全て処理され、スタックが空になったら、ルートフレーム10中のシミュレーション時刻Tを更新する。

同時発生事象探索装置58は、トークンと対応するオブジェクトフレーム(120、140、160)、その親フレーム(12、14、16)及び親フレームのもつ関連フレーム(129、149)を探索し、同時発生事象ルール42を参照しながら、同時発生事象とそれに該当するオブジェクトを探索する。

#### 同時発生事象

同時発生事象には、2種類ある。1つは偶発的同時発生事象で他は、意図的同時発生事象である。これを第6図で説明する。第6図の横軸は各オブジェクトを、また縦軸はシミュレーション時刻Tを示す。A1～G3の符号を付した○印は事象を示す。二重線は事象の継続、一重線は連鎖関係を示す。偶発的同時発生事象は、たまたま偶然に2

としては、

- ・機械オブジェクトがバッファに出力した。
- その機械が属するセルの下流側で、入力待ちの台車をさがせ、

- ・機械オブジェクトが段取り替を終ることによって作業者が開放された

- 故障を起して修理待ちの機械をさがせ、

又は

- 段取り替えのために作業者をまっている機械をさがせ、

等があげられる。

#### シミュレーションのアルゴリズム

シミュレーションは第7図に示すように以下のアルゴリズムにより実行される。

(1) 最初にルート・フレームの現在のシミュレーション時刻Tを0にする(ステップ700)。

(2) 次にトークンの探索とシミュレーション時刻Tの更新をステップ702で行う。まず、事象発生探索装置52がトークン・テーブル40中にあるトークン30を順に探索し、次に発生するイ

イベントまでの時間間隔が最小になるようにして、次に発生するイベントと、その発生時刻を求め、その時刻分だけシミュレーション時刻をすすめる。この探索の際、トークンの待ち状態マーク域36に印のあるものは、その対象からはずす。第6図の例では、時刻T1において、事象A1とF1に対応するトークンが探索により抽出され、事象B0とE0に対応するトークンが対象からはずされる。

(3) シミュレーション時間とルート・フレームの現在時刻Tを比較し(ステップ704)、Tがシミュレーション打ち切り時間を超えていたら、シミュレーションを終了する(ステップ706)。そうでなければ、ステップ708に進む。

(4) ステップ708では、ステップ702の探索により該当のトークンがあったか否かを判断し、なければ、ステップ702に戻る。トークンがあれば、そのトークンを次のステップ710で事象処理スタック54に積む。

(5) 事象処理装置56は、ステップ711で、

をデータ・ファイル保持部に出力する。

(8) 次に、同時発生事象探索装置58が、トークン30につながるフレームポインタ32及びそのフレームの状態変数38をキーにして、同時発生事象ルール集42を探索する(ステップ714)。そこで該当するルールに従い、関連フレームポインタなどの情報をもとにイベント・トークン・テーブルの探索を実行し、同時発生する事象に対応するトークン30で、待ち状態マーク域36に印のあるものを全て探しだし、それらを事象処理装置中の事象処理スタック54に積む。第6図の例でトランス1、オペレータ1は時刻T1において待ち状態にあり、セル1の事象A1に対する同時発生事象B1、E1として抽出される。

セル2は、時刻T2以降、待ち状態にあり、トランス1が事象B4を発生させたとき、その同時発生事象C4として抽出される。

(9) ステップ716で事象処理したトークン及び待ち状態のトークンをタイム・イベント・テーブル40に戻す。

トークン30につながるフレームポインタ32をたどり、その状態を把握して、予定の事象を発生できるか否かを判断する。予定の事象がその時のシステムの状態により実行できない場合がある。例えば第6図のセル2はトランス1に連続した関係にあり、時刻T2において独立に事象C2を実行できない。このとき、事象C2に相当するトークンの待ち状態マーク域36に印をつける(ステップ720)。このトークンのさすオブジェクトが何らかの待ち状態に入ったことになる。同様に時刻T0における事象B0、E0が待ち状態にある。

(6) ステップ712でトークンにつながるフレームポインタをたどり、事象処理を行う。事象処理の結果システムの状態に変更がある場合は、そのフレームの内容、フレームの状態を示す状態変数の値を更新する。事象処理の詳細は後で述べる。

(7) ステップ713で事象発生記録を行う。すなわち、事象を実行した各点の時刻Tとその内容

(10) 事象処理スタック54にトークンがあるか否かチェックし(ステップ718)、有ればステップ712に戻りトークンが無くなるまで上記各ステップを繰り返す。第6図の例では、事象A1、F1の両事象に対応して上記各ステップが各々繰返される。

トークンがなくなれば、ステップ702に戻る。第6図の例では、ステップ714の処理により、時刻T1における同時発生事象B1、E1に相当するトークンがタイム・イベント・テーブルに存在するので、シミュレーション時刻Tは更新されず、これらのトークンの処理(ステップ710～718)が実行される。

以下同様にして、シミュレーション終了時刻まで上記各処理を繰返す。

事象処理装置56は、ステップ713の事象処理記録を逐次データ・ファイル保持部1Dに出力し、データ処理部1Eでそのデータが処理される。この詳細は後で説明する。

次に上記ステップ712で実行される事象処理

の内容につき、各オブジェクト毎にその動作を説明する。

#### 各オブジェクトの動作順序詳細

##### (A) 生産セルの動作

生産セルの仕事は、与えられたJOBを機械により実行することである。生産セルは、その実行すべきJOBをスタックに蓄える。

スタックには、スケジュールジョブ・スタックとリクエストジョブ・スタックがある。スケジュールジョブ・スタックは、スケジューラから生産セルに割当てられたJOB、すなわち、JOBシーケンスで定義されたJOBを積んでおくスタックである。一方、リクエストジョブ・スタックは、後工程から、トランスを通じて要求されたJOBを積んでおくスタックである。共に先入れ後出しの規則に従ってJOBを取り出す。

生産セルの基本的な動作は、第8図に示すように、次のステップからなる。

##### (1) JOBの引き出し

スケジュールジョブ・スタックと、リクエスト

ブ507)。

##### (4) 機械のチェック

機械の状況調べる(ステップ508)。故障ならば修理のためのオペレータを探し(ステップ509)、修復作業を行わせる(ステップ510)。オペレータが不在ならば、待機する(ステップ511)。

##### (5) JOBの実行

機械の型を判断し(ステップ512)、機械が自動型の時は、直ちにJOBの実行に入る(ステップ513)。手動型の時は、機械操作のために必要な数の作業可能なオペレータを探す(ステップ514)。すなわち、JOBの実行開始時が、オペレータの作業時間帯内であり、かつその作業受待ち区域に含まれているものを探す。オペレータが見つかった時は、その機械はJOBの実行に移る。見つからない時は、そのまま待機する(ステップ515)。

##### (6) 作業の実行

##### (6.1) 入力部品引き当て

ジョブ・スタックのどちらかのスタックからJOBを引き出す(ステップ501)。同時に二つのスタックにJOBがあるときは、リクエストジョブ・スタックにあるJOBを優先する。いずれのスタックにもJOBがない時には、そのまま待機する(ステップ502)。

##### (2) 機械の割当て

空いている機械を探し、その機械に引き出したJOBを割当てる(ステップ503)。空いている機械がない時は、そのまま空くまで待機する。

##### (3) 段取り作業

機械の段取り状態調べる(ステップ504)。割当てられた機械の段取りのままで割当てられたJOBが実行可能ならば、JOBの実行に入る。そうでない時、割当てられたJOBの実行に必要な段取り作業を探しだし、段取り作業を行うために、作業可能なオペレータを探す(ステップ505)。オペレータが見つかった時は、その機械は段取り作業に入る(ステップ506)。

見つからない時は、そのまま待機する(ステッ

作業に必要な仕掛品をセルの保有するバッファから取りだし機械にロードする(ステップ513)。バッファから機械へのロードタイムはゼロとする。必要な仕掛品のない時は、そのまま待機し、入力待ちの状態になる(ステップ516)。

##### (6.2) 機械上の作業

機械を稼働する(ステップ517)。

##### (6.3) バッファへの出力

作業が終了した仕掛品を、セルの保有するバッファに機械からアンロードする(ステップ518)。機械からバッファへのアンロードタイムは考慮しない。バッファが容量一杯で出力できない時は、そのまま待機し出力待ちの状態になる(ステップ519)。

##### (7) JOB終了

JOBで定義された回数分だけの作業が実行されたか否かを確認する(ステップ520)。まだ実行されていない時、再度、作業を実行する(6に戻る)。回数分だけ実行された時、JOBを終了する。その機械が手動型であれば、(ス

テップ521)、機械操作作業をしていたオペレータを解放する(ステップ522)。

(8) (1)へ戻る。

(B) 搬出セルの動作

(1) 発注型搬出方式の搬出セルの動作

出力バッファの在庫量が、在庫基準点を下回った時もしくは空になった時、搬出指示が出される。搬出指示には、仕掛品毎に搬出量が提示されている。搬出指示が出された時点から、指定されたりードタイムだけ時間が経過した時、該当する部品が提示された量だけ搬出される。搬出する仕掛品が充分にない時は、そのまま待機する(出力待ち)。

(2) 確率分布型搬入方式の搬出セルの動作

決められた確率分布に従って、搬出時間が決められる。搬出時間になると、あらかじめ提示された部品が、提示された量だけ搬出される。搬出する仕掛品が充分にない時は、そのまま待機する(出力待ち)。

たりードタイムだけ時間が経過した時、該当する部品が提示された量だけ搬入される。この時、入力バッファに充分なスペースがない時は、スペースができるまで、そのまま待機する(入力待ち)。

(2) 確率分布型搬入方式の搬入セルの動作

決められた確率分布に従って、搬入時間が決められる。搬入時間になると、あらかじめ提示された部品が、提示された量だけ搬入される。この時、入力バッファに充分なスペースがない時は、スペースができるまで、そのまま待機する(入力待ち)。

(3) 周知型搬入方式の搬入セルの動作

決められた時間間隔により、常に一定の時間間隔で周期的に搬入時刻が決められる。間隔及び仕掛品ごとの搬入量を定義しておく。搬入時間になると、あらかじめ提示された部品が、提示された量だけ搬入される。この時、入力バッファに充分なスペースがない時は、スペースができるまで、そのまま待機する(入力待ち)。

(3) 周知型搬入方式の搬出セルの動作

決められた時間間隔により、常に一定の時間間隔で周期的に搬出時刻が決められる。間隔及び仕掛品ごとの搬出量を定義しておく。搬出時間になると、あらかじめ提示された部品が、提示された量だけ搬出される。搬出する仕掛品が充分にない時は、そのまま待機する(出力待ち)。

(4) 計画型搬入方式の搬出セルの動作

あらかじめ定義された搬出予定表に従って、搬出が行われる。予定表には、搬出予定時刻と、搬出仕掛品名、搬出数量が定義されている。予定時刻になった時点で、該当する仕掛品が定義された量だけ搬入される。搬出する仕掛品が充分にない時は、そのまま待機する(出力待ち)。

(C) 搬入セルの動作

(1) 発注型搬入方式の搬入セルの動作

入力バッファの在庫量が、在庫基準点を下回った時もしくは空になった時、搬入指示が出される。搬入指示には、仕掛品毎に搬入量が提示されている。搬入指示が出された時点から、指定され

(4) 計画型搬入方式の搬入セルの動作

あらかじめ定義された搬入予定表に従って、搬入が行われる。予定表には、搬入予定時刻と、搬入仕掛品名、搬入数量が定義されている。予定時刻になった時点で、該当する仕掛品が定義された量だけ搬入される。この時、入力バッファに充分なスペースがない時は、スペースができるまで、そのまま待機する(入力待ち)。

(D) トランスの動作

トランスには、プッシュ型と、プル型の二つの型があり、型により動作が異なる。

(1) プッシュ型のトランスの動作

プッシュ型のトランスの基本的な動作を第9図を参照して説明する。

i) 通常上流側(前工程)に待機している(ステップ901)。

ii) カートに積めるだけの仕掛品がそろった時に(ステップ902)、仕掛かり品をカートにロードする(ステップ903)。この時、ロードタイムで定義された積み出し時間だけ時間を要する。

Ⅲ) 積み出しが終了後、直ちに搬送作業に入り後工程に搬送する(ステップ904)。

ⅴ) 後工程に到着する。カートに積んだ仕掛品が全て搬入できるだけのスペースが、後工程のバッファにあるかを調べる(ステップ905)。あれば搬入する(ステップ906)。この時、

(ii) 同様積み出し時間だけ時間を要する。なければ充分なスペースができるまで待機する(搬入待ち…ステップ907)。

ⅵ) 空のまま前工程に戻る(ステップ908)。  
(2) ブル型のトランスの動作

ブル型のトランスの基本的な動作は、第10図に示すように、以下の順に実行される。

i) 通常下流側(後工程)に待機している(ステップ1001)。

Ⅺ) 後工程のバッファにある仕掛品在庫が基準量を下回った時に(ステップ1002)上流側(前工程)に向かって空のまま仕掛品を取りに行く(ステップ1003, 1004)。基準量が設定されていない時は、バッファが空になった時

点で仕掛品を取りに行く。

Ⅻ) 前工程のバッファにカート・サイズ以上の仕掛品があれば、それをカートにロードする(ステップ1005)。この時、積み出し時間だけ時間を要する。仕掛品がない時、前工程セルに対して該当するJOBを要求し、そのまま待機する(ステップ1006)。

Ⅼ) 仕掛品をカートにロードした後、仕掛品がそのバッファの在庫基準量を下回ったならば(ステップ1007)、その時点で前工程のセルにJOBを要求する(ステップ1008)。

Ⅽ) 積み出し終了後、直ちに搬送作業に入り、後工程に搬送する(ステップ1009)。

Ⅾ) 後工程に到着する。カートに積んだ仕掛品が全て搬入できるだけのスペースが後工程にあるかを調べる。あれば搬入する。この時、(Ⅲ)同様、積み出し時間だけの時間を要する。なければ、充分なスペースができるまで待機する。

(E) オペレータの動作

オペレータは、セルの要求に応じて、機械操作、

段取り作業、機械修理の必要が生じた時に、仕事を行う。オペレータは、グループ毎に、作業時間が設定される。オペレータが仕事にかかり始める時刻が設定された作業時間内であれば、仕事にとりかかる。一旦仕事に取りかかった後は、仕事中に作業時間の期限が切れたとしても、その仕事が終了するまでは中断しない。

(F) 生産指示方式のシミュレーション

(1) 押し出し型生産指示方式のシミュレーション

押し出し型生産指示方式をシミュレーションするには、各々の工程ごとに与えられた生産指示の内容(何を、いくつ生産するか)と、その実行順序が明示されていることが必要かつ十分である。本発明のシミュレーション・システムでは、JOB列がこれに該当する。第11図に示すように全てのセル12にスケジューラ1100から生産計画が与えられたものとして、それをセル中のJOB列で表現する。又、各セルを連結するトランス14はプッシュ型に設定する。JOB列で定義

されたJOBの並びは、定義された順に実行される。下流のトランスがプッシュ型であれば、処理終了後、順に次工程に送られる。すなわち、生産セルは、与えられた計画に従って生産を行い、仕掛品を下流の工程に送り出すことになる。

(2) 引き取り型生産指示方式のシミュレーション

引き取り型生産指示方式をモデル化するには、最終工程のセル12E(搬出セルでもよい)だけに、出荷計画に該当するスケジュール1200を設定し、残りのセル12では特にJOB列を設定しない。又、各セル12を連結するトランス14は全てプル型にしておく。最終工程で必要とされる仕掛品が在庫基準量を下回ると、その前工程と連結しているトランスを起動する。トランスは、前工程に到着して仕掛品を引き取るが、この時、仕掛品の在庫量が基準量以下ならば、セルにJOBを要求する。この連鎖が前工程に繰り返されて工程全体が稼働する。

プル型のトランスのカートは、通常後工程で待



機において、自分の運搬担当の仕掛品が在庫基準量を下回った時に、前工程に向かって出発する。前工程に到着して、該当仕掛品を積み出そうとする。この時、充分な仕掛品がなければ、その仕掛品を出力とするJ O Bを前工程に要求する。又、仕掛品積み出し後に残存量が在庫基準点を下回った時も同様の処理を行う。前工程のセルは、後工程からの要求を該当するJ O Bに変換し順に実行する。前工程のセルとトランスがこのような連携して動作する。

### (3) 押し引き混合型生産指示方式のシミュレーション

押し引き混合型には、部分的に押し引き型、引き出し型が混在しているもの、基本的にスケジューラーから生産指示をうけるが必要に応じて後工程からのカンバンによる生産指示も考慮しようとするもの等、様々な方式がある。押し引き混合型モデルを表現するには、第13図のようにセルのJ O B列とトランスの型を適宜組合せれば良い。スケジューラー1300からの生産指示は、セル

のJ O B列で表現され、後工程からの生産指示の伝搬機能は、トランスの型(プル型)で表現される。これらは、各工程で独立に定義できるので、基本生産計画をベースにしてカンバンで微調整を行うJ I T (ジャスト・イン・タイム) 生産システムを忠実にモデル化できる。

なお、第13図は、後で詳細に述べる第14図の生産ライン・モデルの一部と対応している。すなわち、セル12Aが第14図の工程1、セル12Bが機、セル12Cが工程2、セル12Dが工程3、セルFが工程4に各々対応する。

### F-5. データ処理部

シミュレーション実行部1Cは、第7図の事象処理ステップ712において出力用データの処理も実行し、その結果を、データ処理部1Eに出力する。シミュレーション実行中にイベント・トークンが表6、表7の評価項目に該当する条件に出会った時、トークンにつながるオブジェクト・フレーム更にはルート・フレームに書かれた情報を参照して、表8に示すサンプリング方法で、後に

示す計算式を用いて統計演算を行う。

表6. 性能評価データの評価項目

- |                       |
|-----------------------|
| (1) 生産セルで定義された機械      |
| - 総稼働時間               |
| - 入力待ち時間              |
| - 出力待ち時間              |
| - 修復時間                |
| - 取扱い時間               |
| - 機械操作のための作業待ち時間      |
| - 修復・取扱いのための作業待ち時間    |
| (2) トランスで定義された各々の搬送器具 |
| - 総搬送時間               |
| - 搬入・搬出のための作業時間       |
| - 搬入待ち時間              |
| - 搬出待ち時間              |
| (3) オペレータで定義された各々の作業員 |
| - 総作業時間               |

シミュレーション実行部が出力するデータには、性能評価データと推移時系列データの二種類があり、データ処理部1Eでこれらのデータの処理と

統計解析を行う。推移時系列データとは、第15図に示すようにシミュレーション実行中に発生した、部品の入出力に関する全ての事象が、発生した順に記録されているもののことである。ここにはシミュレーション・モデルに存在するあらゆるオブジェクト(セル、トランス、オペレータ)が起こした入出力事象が混在して記録されているので、生産セルA、セルB、部品X、Y、入出力バッファごと事象を152、154、156…と整理分類する。

本発明によれば、イベント・トークンが双方向リストやポインターで容易に関係するルート・フレーム、オブジェクト・フレームを検出しその情報を用いることができるので、同時発生事象の詳細な項目の評価を迅速に得ることができる。

表7. 推移時系列データの評価項目

- (1) 各セルにおける部品別の仕掛かり在庫量の推移時系列データ
- (2) 累積生産量の推移時系列データ
- (3) 時間区間生産量の推移時系列データ

表8. 推移時系列データのサンプリング方法

- (1) 一定の時間間隔でデータのサンプリング。
- (2) 任意の時間間隔でデータのサンプリング。
- (3) 部品の入出力に関連した全ての事象についてデータのサンプリング。

データ処理部の統計解析の役割は二つある。ひとつは性能評価データの統計解析処理であり、もうひとつは各セルでの処理量、仕掛在庫量の推移時系列データの処理である。

性能評価データおよび推移時系列データは、独立リプリケーション法によって収集され、統計的に計算処理される。ここで得られる統計的な評価事項は、平均値、標準偏差、最大・最小値および信頼区間である。これらの処理は表9の計算式を用いて行われる。

即ち、 $n$ 回の独立なリプリケーションから得られたデータ（上述の、機械の総稼働時間、搬送器具の搬入・搬出待ち時間、累積生産量の推移時系列データなど）を  $X_1, \dots, X_n$  とするとき、平均値等は次のようにして求められる。

表9. データ処理の計算式

- (1) 平均値:  $\bar{X} = (X_1 + \dots + X_n) / n$
- (2) 標準偏差:  $SD = \sqrt{(SqSumX - SqSum1/n) / (n-1)}$   
ここで、 $SqSumX = (X_1^2 + \dots + X_n^2)$ 。
- (3) 最大・最小値:  $X_{max} = MAX(X_1, \dots, X_n)$   
 $X_{min} = MIN(X_1, \dots, X_n)$
- (4) 信頼区間: 下限値  $= \bar{X} - t_{1-\alpha/2, n-1} / \sqrt{SD^2/n}$   
上限値  $= \bar{X} + t_{1-\alpha/2, n-1} / \sqrt{SD^2/n}$   
ここで、 $t_{1-\alpha/2, n-1}$  は自由度  $n-1$  を持つ分布の上側  $1-\alpha/2$  パーセント点。

表6の評価項目により、セル、トランス及びオペレータの稼働率に関するデータが得られる。

また、表7の評価項目により、部品の生産量に関するデータが得られる。

これらの評価項目のデータは、擬似乱数の影響

を平等に扱うために数回の反復実験を経て、データ処理部によって統計処理され、シミュレーション結果の数値レポートとして出力される。表10の例は、シミュレーション時間全体におけるセルの稼働状況に関するものである。縦はセルの稼働状況に関する詳細な評価項目、横は統計量である。表10. シミュレーション結果のレポート出力例

セル: A1		項目	平均 (S)	標準 (最小・最大) (95%信頼区間)
稼働: AT111		項目	平均 (S)	標準 (最小・最大) (95%信頼区間)
No input		0.00 (0.00)	0.00 (0.00, 0.00)	(0.00, 0.00)
Full output		0.00 (0.00)	0.00 (0.00, 0.00)	(0.00, 0.00)
Work		0.00 (0.00)	0.00 (0.00, 0.00)	(0.00, 0.00)
Recover		0.00 (0.00)	0.00 (0.00, 0.00)	(0.00, 0.00)
Setup		0.00 (0.00)	0.00 (0.00, 0.00)	(0.00, 0.00)
Output wait		0.00 (0.00)	0.00 (0.00, 0.00)	(0.00, 0.00)
Recover wait		0.00 (0.00)	0.00 (0.00, 0.00)	(0.00, 0.00)
Setup wait		0.00 (0.00)	0.00 (0.00, 0.00)	(0.00, 0.00)

表11の例は、シミュレーション時刻の推移に対して、セルの部品の生産量の累積を表わしたものである。縦は60シミュレーション時刻毎における部品生産量の推移時系列データ、横は、統計量である。

表11. シミュレーション時刻と部品生産量の推移

シミュレーション時刻	生産量	標準 (最小・最大) (95%信頼区間)
60.00:	173.00	11.17 ( 155.00, 189.00 ) ( 166.53, 179.47 )
120.00:	352.00	23.85 ( 321.00, 383.00 ) ( 349.07, 376.79 )
180.00:	530.70	27.85 ( 506.00, 552.00 ) ( 534.65, 556.74 )
240.00:	743.80	32.35 ( 690.00, 782.00 ) ( 725.05, 762.55 )
300.00:	920.90	32.50 ( 880.00, 964.00 ) ( 912.06, 949.74 )
360.00:	1124.00	24.47 ( 1080.00, 1154.00 ) ( 1109.81, 1138.19 )

図6. 外部表示装置

上記評価項目に関する数値データは多量な有用な情報を含んでいるが、評価項目の種類が詳細になればなる程、それらの情報を効率的・効果的に把握する手段が欠かせないものとなる。そのために、図形表示の機能を有する外部表示装置2を備えている。

この図形表示の機能は、上記のセル、トランス、オペレータの稼働状況に関する評価項目（表6）、および部品の生産量に関する評価項目（表7）のいずれのデータも、表示することができる。第16図の(A)は、セルの稼働状況に関する評価データを図形表示したもので、縦軸はセル内に定義された機械のリスト、横軸は各機械の稼働状況に関する各評価項目が、全シミュレーション時間に

対してどれだけの割合を占めたかを表している。  
第16図の(B)、(C)は、セルにおける部品の生産量に関する評価データを図形表示したもので、縦軸は部品の生産量を表わし((B)では、生産量は累積値であり、(C)では区間値である)、横軸はシミュレーション時刻を表わしている。

(D)は、セルに付随したバッファにおける部品の仕掛在庫量に関する評価データを図形表示したもので、縦軸は部品の仕掛り在庫量、横軸はシミュレーション時刻を表わしている。

評価項目に関する数値データの図形表示をより、効果的なものとするために、図形表示機能は、1つの画面に複数の図表を表示する機能を備えるのがよい。

このようにシミュレーションのさまざまな評価項目を同時に図形表示することができるので、ユーザーは、シミュレーション結果の持つ多義にわたる意味を直感的に把握することができ、モデルの妥当性やシステムの特徴・問題抽出等のための有効な参照データとして利用することができる。

(3) 確率分岐とリワークがある。

各々の工程が検査工程であるため、検査結果の如何により、次工程へのものの流れが確率的に分岐する。

(4) プッシュ型/プル型の混在である。

第13図で説明したような、プッシュ/プル混在型である。

(5) 自動化工程と手作業工程が混在する。

(6) シフト制である。

自動化工程は1日24時間稼働させるが、手作業工程は原則として1日2シフトの16時間稼働である。

シミュレーションの再現性を確認するために、このラインを対象にシミュレーション・モデルを作成した。モデルでは、工程1については、実データより出荷リストを作成して、計画型のソースノードとして表現し、最終工程は、リードタイム0の発注型の搬入ノードとして表現した。各工程の処理作業時間、機械修復時間は、前述したシフト型指数分布に従うものとして、実データからバ

また、異なるモデルでのシミュレーションの解析結果を同時に表示できるので、複数の生産システム間の性能の比較評価も容易かつ有効に行うことが可能である。

#### F-7. 適用例

本発明のシミュレーション・システムの実用性を検討するために、ある検査工程ラインを対象にシミュレーションを行った。第14図に、その生産ラインの概略図を示す。

この生産ラインは、工程1で最終組立て作業を終了した後、工程2、工程3、工程4を経て最終的に工程5から製品を出荷するものである。その途中、異常が検査されたものを修復工程1、修復工程2に送り、再度試行する。各工程には有限サイズのバッファがあり、数十の機械が配置されている。又、各工程のロット・サイズは、設置機械の制約により各々の工程で独自に決められる。このラインの特徴は次のとおりである。

(1) 大規模システムである。

(2) 多品種生産システムである。

ラメータの推定を行った。分岐確率は、過去のメンテナンス・データより推定した。シミュレーションの時間は24時間であり、データ収集した作業日の品目は単品種である。

第17図に、最終工程における生産高の、1時間毎の累積推定値のシミュレーション値とこのプロセスで実現されている出荷実績値との比較を示す。シミュレーション値は、5回の独立リブレーション・ランによるシミュレーション結果の平均値をプロットしたものである。この図から、シミュレーション値がほぼ実績値を再現しているのがわかる。

#### F-8. 実施例の利点

以上説明した実施例によれば、次のような利点がある。

(1) 同時発生事象を効率よく処理することにより、高速な離散事象型シミュレーションが行える。

本発明のシミュレーション装置では、偶発的同時発生事象は発生予定時刻をキーにして、意図的同時発生事象はあらかじめ与えられた同時発生事

食ルールのフレーム・インデックスを用いて各々イベント・トークンで探索することにより、離散型シミュレーション技術のネックとなっている同時発生事象の計算処理を極めて効率的に行なうことができる。また従来のシミュレーション言語では、同時発生事象の処理はもっぱら言語のユーザーにまかされていたので、モデルに合わせてひとつひとつ処理アルゴリズムを記述しなければならず、モデルの作成に多大な手間を要した。生産システムのシミュレーションの場合、工程間バッファの容量に制限があったり、引き取り型生産指示のように前工程と後工程を同期とって稼働させたりするために、コンピュータ通信網等のシミュレーションに比べて同時発生事象が非常に頻発に起こりやすい。本発明のシミュレーション手法は、この点を解決するのに有効な手段であり、同時発生事象の処理アルゴリズムの記述が非常に簡単に行なえる。

(2) シミュレーション・モデルの作成およびそのパラメータの指定が極めて簡単にできる。

簡便である。また、シミュレーション・パラメータとモデル作成を独立させてあるので、ランの条件だけを変えてシミュレーションを実行するような時(システムの設計前の評価等)にも、迅速に対応できる。

(3) 生産指示方式・発注方式がモデルとして簡単に表現でき、かつそのシミュレーションを実行ができる。

シミュレーション・モデルを記述するための記述要素は、工程中の装置に関するものの他に、工程のオペレーションに関するものがある。それは、生産セルのJOBシーケンスおよび優先順位、トランスのプッシュ型およびプル型、搬入セル、および搬出セルの搬入・搬出方式であるが、標準のモデル記述用語として備えてあるので、生産指示方式・発注方式をモデル中に取り込むことは極めて容易である。

(4) 詳細かつ複雑な出力データ解析が行える。

機械などのシステム資源や、搬送器具などのシステム資源の評価において、定型化され、双方向

モデルの記述要素としては、セル(生産系のノード、入口・出口のノード)、搬送系およびオペレータの三つに大別され、工場内の具体的なものに対応している。本発明のシミュレーション・モデル記述形式は、各記述要素を表形式として表現するもので、多くの場合、記述項目とその内容が1対1に対応しており、記述が容易な方法である。各記述要素には、機械、バッファ、段取り情報等の工程中に設置された装置だけでなく、日程生産計画、発注方式、生産指示方式などの工程のオペレーションに関する工程構成要素についても記述型が用意されている。これによって、より詳細かつ忠実な現実の生産システムのモデル化が可能になる。記述は目的に応じて詳細度を増すことができる一方、特に指定された項目については自動的にデフォルト値が設定されるようになっており、モデルが多少粗くなっても早く結果を得たい、という要求にも答えることができるようになっている。簡略したモデルをより詳細にするときは、下位レベルのフレームごとに変更を行えばよいので、

リストやポインタを有するフレーム群(ルート・フレーム、親フレーム、子フレーム)を利用してデータを処理するので評価項目が詳細でかつ処理も速い。また、これらのデータは、類似乱数の影響を平等に扱うために数回の反復計算を経て統計的推定値に変換されるので、精密性が高い。

(5) シミュレーション出力データのわかりやすい図形表示が得られる。

定型化され、双方向リストやポインタを有するフレーム群を利用してデータを処理しているのでシミュレーションのさまざまな評価項目を同時に図形表示することができる。従ってユーザーは、シミュレーション結果の持つ多岐にわたる意味を直感的に把握することができ、モデルの妥当性やシステムの特徴・問題抽出等のための有効な参照データとして利用することができる。

#### Ｆ－９．応用例

以上、生産工程システムを例にしたシミュレーション方法を説明したが、本発明は自動倉庫システム、物流システム、電車や飛行機を対象にした

交通システム等にも適用できる。

例えば物流システムでは、倉庫、工場、店舗等がセルに該当し、トラックがトランス、運転手や作業員がオペレータに該当する。ある店舗のストックが一定時以下になると、同時発生事象として、倉庫や工場に対して物品の補充のための一連のイベントが引起こされる。自動倉庫システムでは、倉庫がセル、搬送具やロボットがトランス、作業員がオペレータに該当する。ある倉庫が一杯になれば、同時発生事象として、他の空の倉庫に積み込むためのイベントが引起こされる。

空港管理システムでは、飛行機や滑走路がセル、送迎バス等の運輸手段がトランス、運転手や作業員がオペレータに該当し、飛行機の離発着に伴い同時発生事象として、トランスやオペレータに一連のイベントが引起こされる。

このほか、銀行の連流式ATMの群管理、マネジメントゲーム等、離散事象を対象とする分野に広く適用できる。

また、本発明のシミュレーション・モデリング

第6図は、同時発生事象を説明するための図である。第7図は第4図の事象処理プロセッサの処理アルゴリズムを示す図である。第8図は、第7図で事象処理を実行するために用いられる、生産セルの動作、第9図は同じく押し出し型トランスの動作、第10図は引き取り型トランスの動作を各々説明する図である。第11図は、同じく、押し出し型生産指示方式のモデリング、第12図は引き取り型生産指示方式のモデリング、第13図は押し出し混合型のモデリングを各々示す図である。第14図は本発明のシミュレーションを適用した対象の生産ラインの概略図、第15図は第4図の装置のデータ処理部の詳細を示す図である。第16図は、外部表示装置の表示例を示す図である。第17図は第14図の生産ラインに適用したシミュレーションの結果として、時間経過に対する生産高の関係を示す図である。

#### 符号の説明

1A…モデリング・パラメータ設定部、1B…内部記憶部、1C…シミュレーション実行部、1

構造は、離散事象型のシミュレーションに限らず、複雑なシステムのシミュレーションを行う際のモデル化に広く利用できる。

#### G. 効果

本発明によれば、同時発生事象の処理アルゴリズムの記述が容易であり、しかも同時発生事象を効率よく処理することにより高速なシミュレーションを行うことができる。

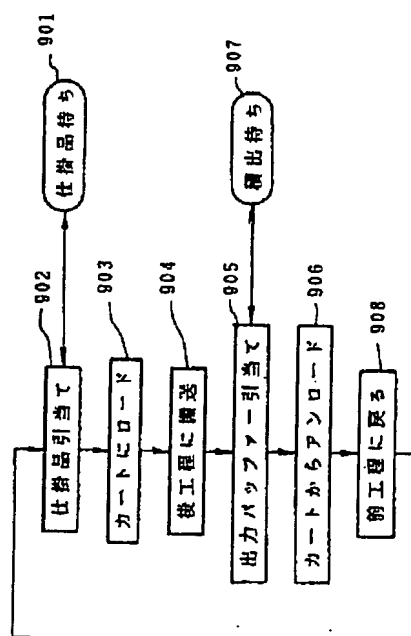
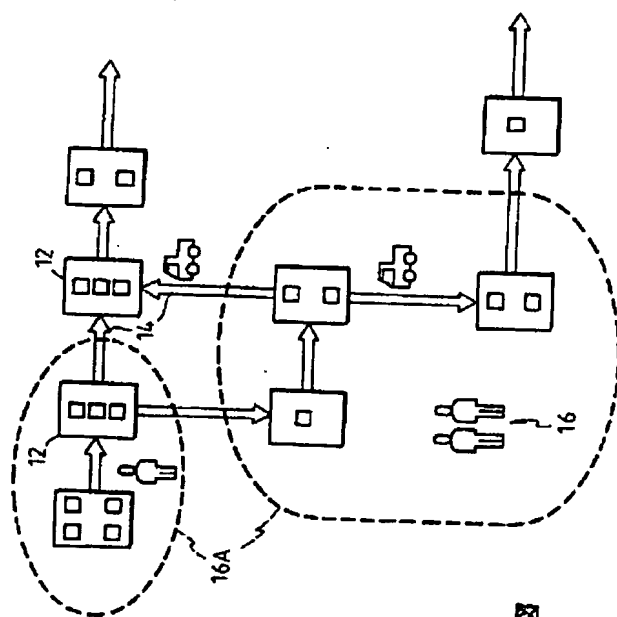
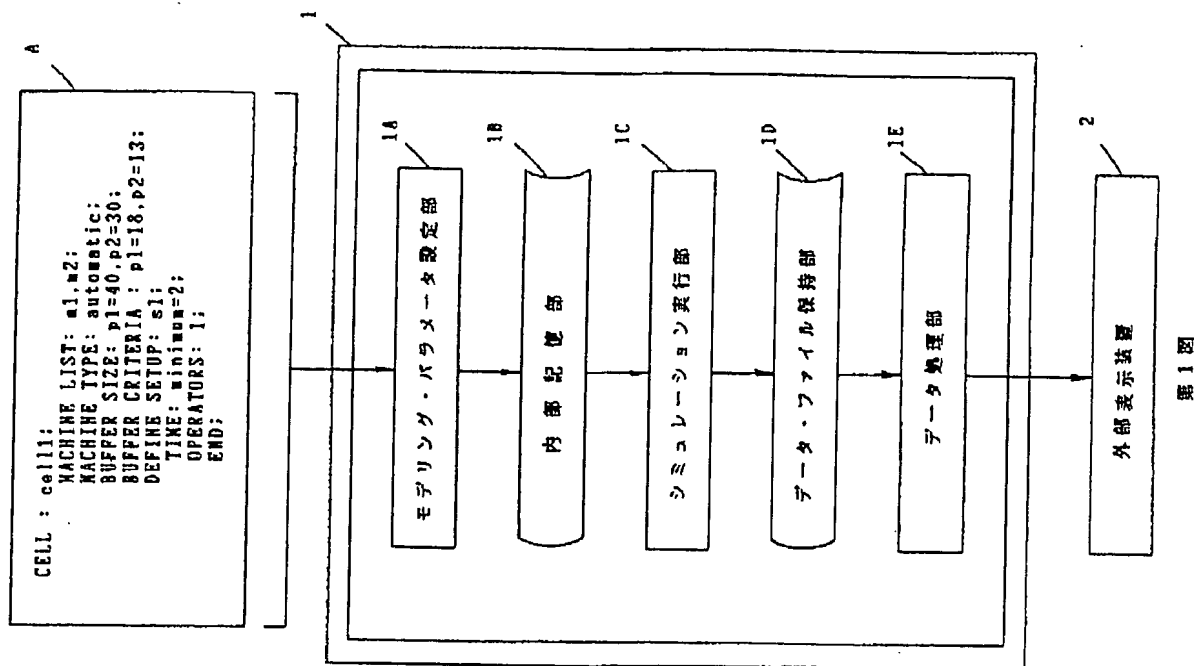
また、複雑なシステムであっても、シミュレーション・モデルの作成が極めて簡単にできる。

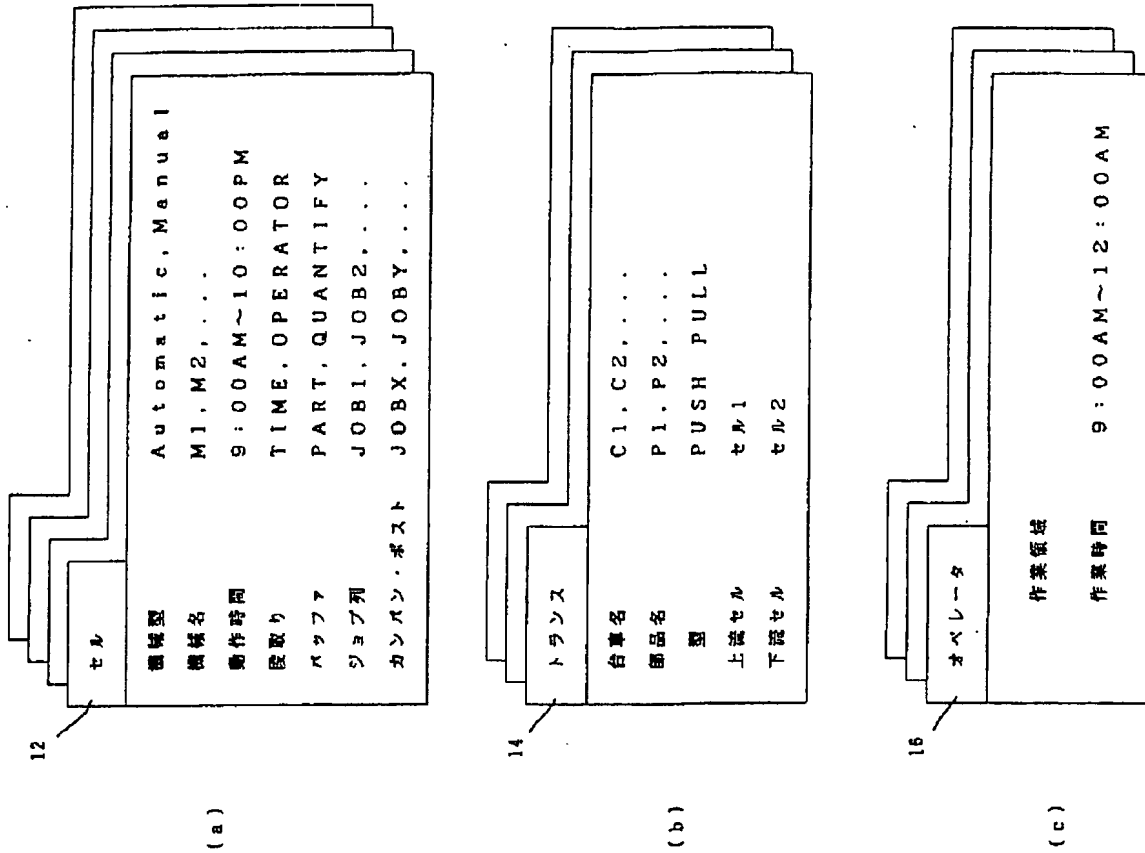
#### 4. 図面の簡単な説明

第1図は本発明の実施例になるシミュレーション装置の概要を示す図である。第2図は本発明におけるモデリング・ディスクリプターである、セル、トランスおよびオペレータの相互関係を示す図である。第3図は、第2図のセル、トランスおよびオペレータの各々の詳細を示す図である。第4図は、第1図のシミュレーション装置の詳細を示す図である。第5図は、第4図の装置で使用されるイベント・トークンの一例を示す図である。

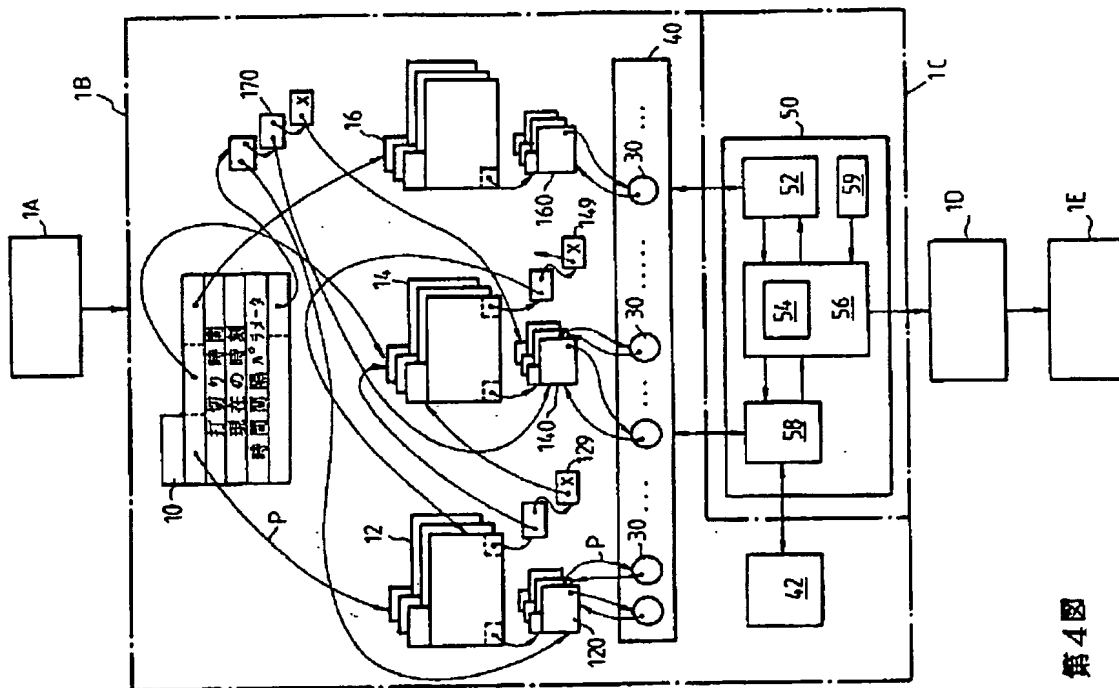
2…セル、14…トランス、16…オペレータ、30…イベント・トークン、40…イベント・トークン・テーブル、42…同時発生事象ルール集、50…事象処理プロセッサ、52…事象発生探索装置、54…事象処理スタック、56…事象処理装置、58…同時発生事象探索装置。

出願人 インターナショナル・ビジネス・マシーンズ・コーポレーション  
代理人 弁理士 額 宮 孝 一  
(外1名)

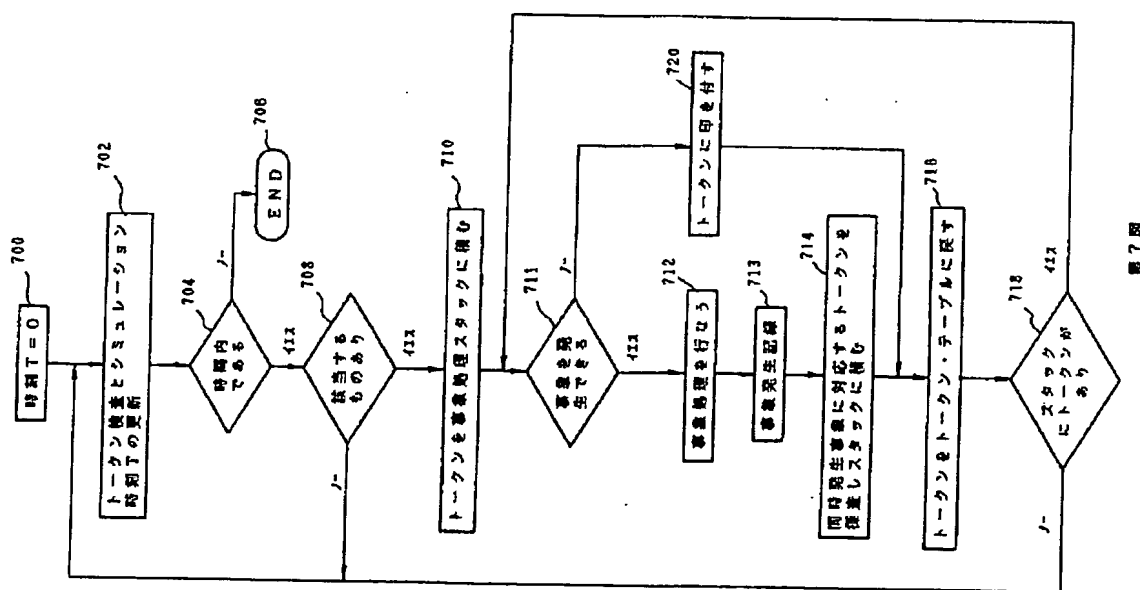
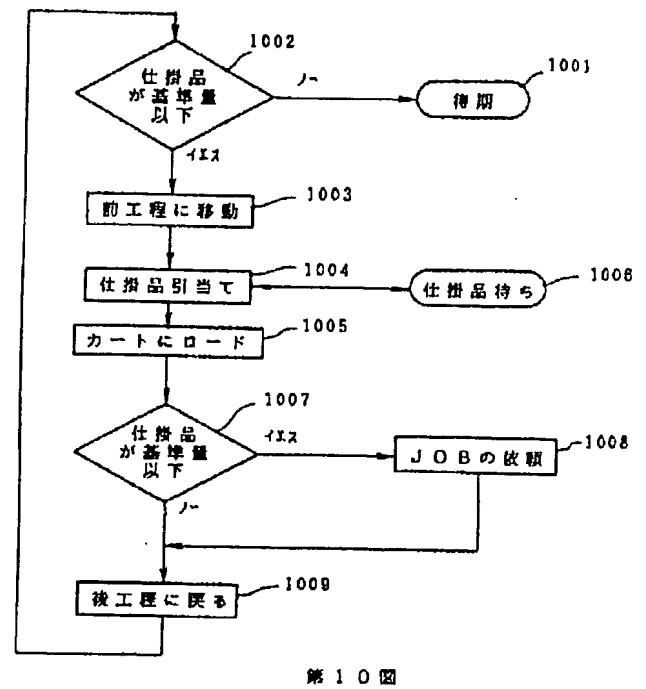
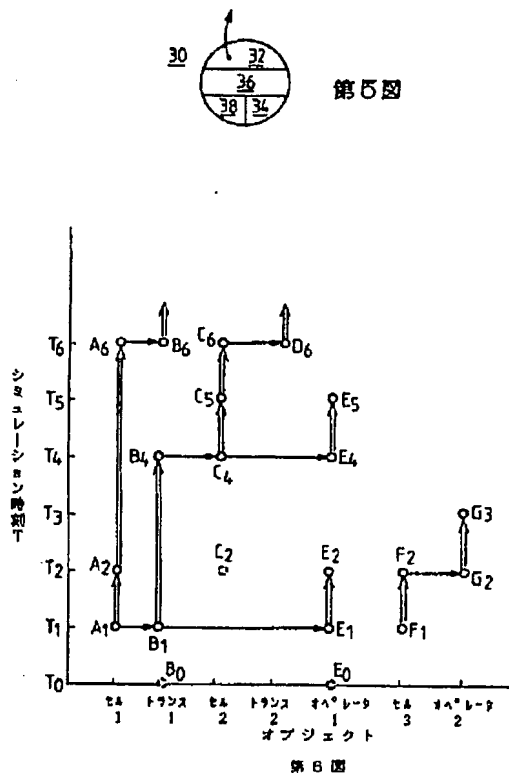




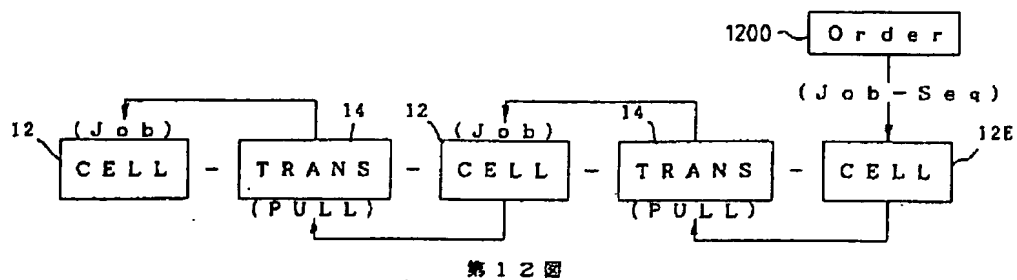
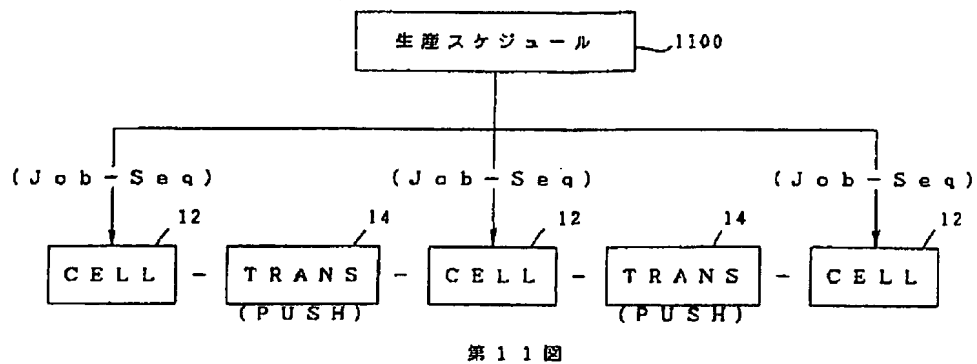
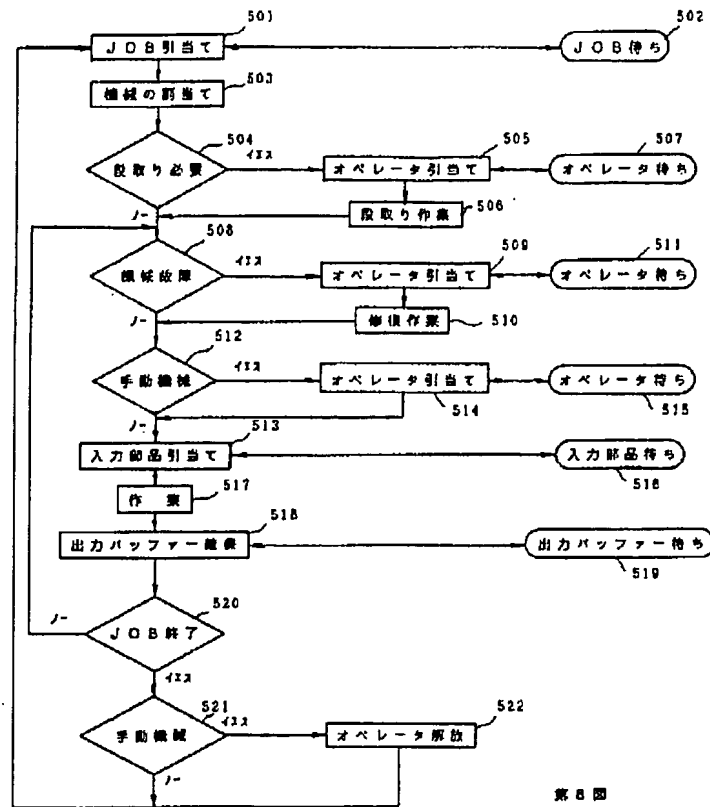
第3図

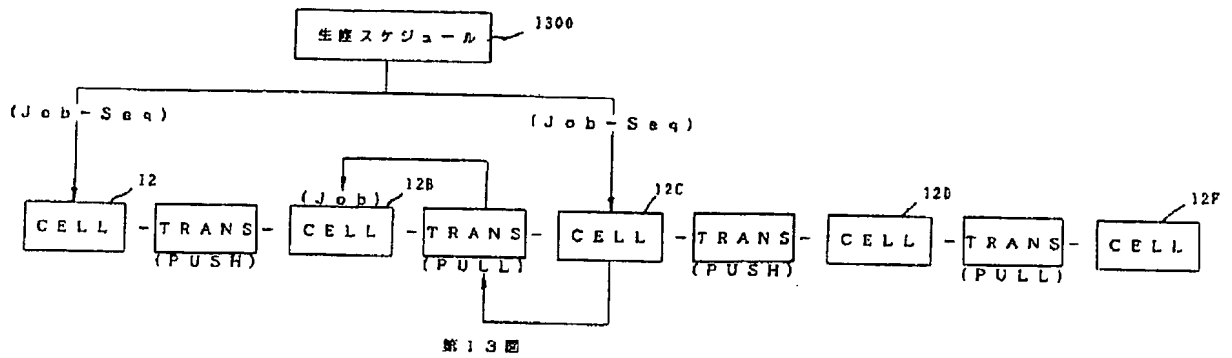


第4図

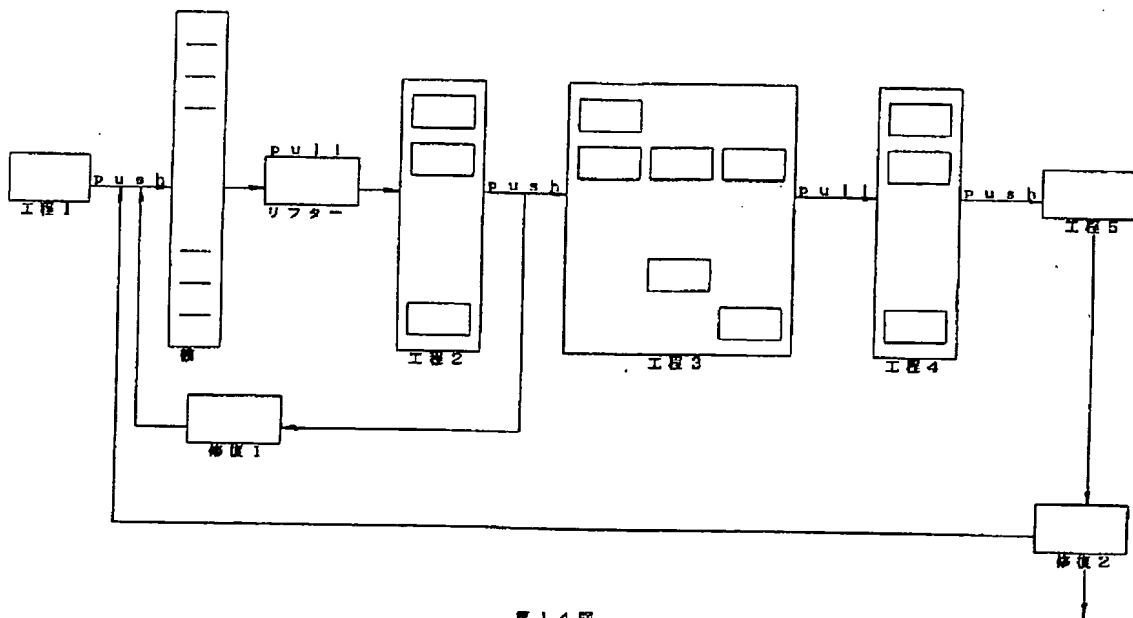




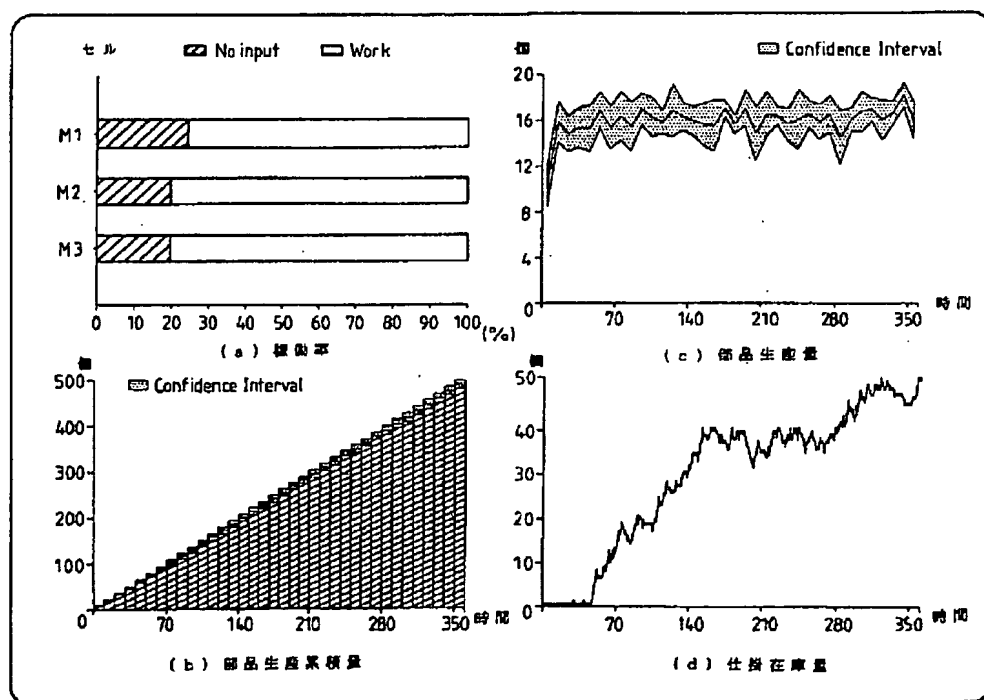
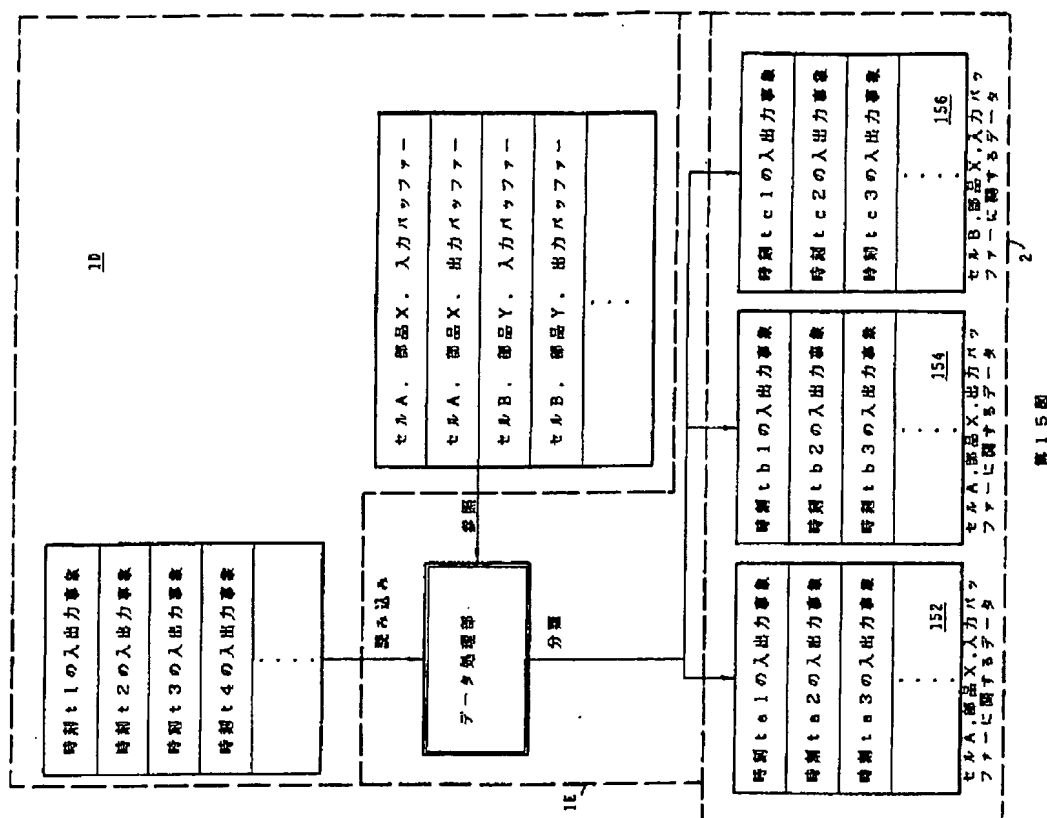




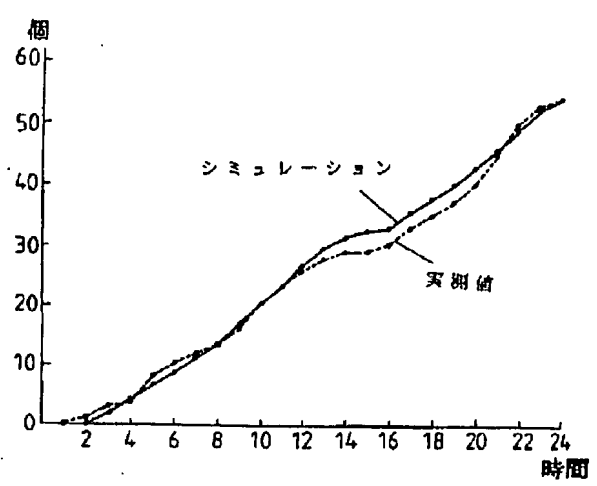
第13図



第14図



第 16 圖



第 17 図